

UNIT AND MODULE FOR LIGHT WAVELENGTH CONVERSION

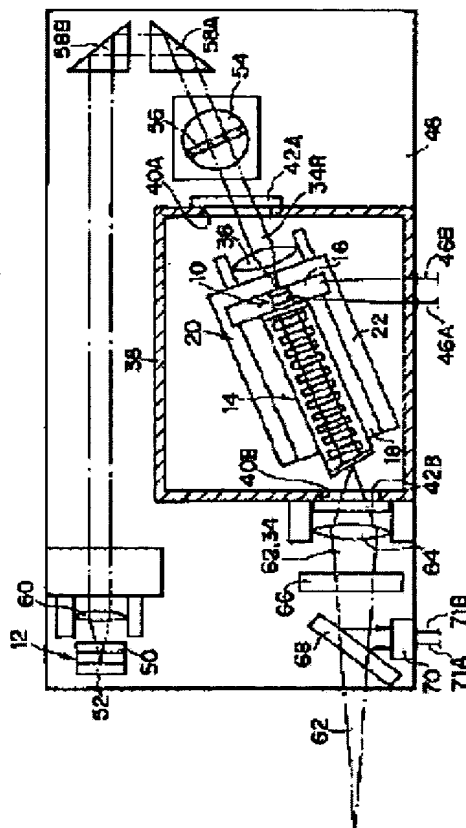
Patent number: JP2001318396
Publication date: 2001-11-16
Inventor: SONODA SHINICHIRO; HATORI MASAMI
Applicant: FUJI PHOTO FILM CO LTD
Classification:
- **International:** **G02F1/377; H01S5/022; H01S5/14; G02F1/35; H01S5/00;** (IPC1-7): G02F1/377; H01S5/022; H01S5/14
- **European:**
Application number: JP20000117013 20000418
Priority number(s): JP20000117013 20000418; JP20000057641 20000302

Report a data error here

Abstract of JP2001318396

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a unit and a module for light wavelength conversion which can convert the wavelength of the basic wave emitted by a semiconductor laser directly by a light wavelength converting element with simple constitution without using solid laser crystal and is easily manufactured and superior in temporal stability by airtightly sealing only a small number of components.

SOLUTION: The light wavelength conversion module is equipped with a semiconductor laser 10, a mirror 12 as a reflecting member constituting an external resonator together with the front projection end surface of the semiconductor laser 10, and a waveguide type light wavelength converting element 14 which outputs a 2nd higher harmonic by converting the wavelength of the basic wave emitted by the semiconductor laser 10 and an LD-SHG unit 20 comprising the semiconductor laser 10 and light wavelength converting element 14 is airtightly sealed in a package 38 together with dry nitrogen, etc.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-318396
(P2001-318396A)

(43) 公開日 平成13年11月16日 (2001. 11. 16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 F	1/377	G 0 2 F	1/377
H 0 1 S	5/022	H 0 1 S	5/022
	5/14		5/14

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-117013(P2000-117013)

(22) 出願日 平成12年4月18日 (2000. 4. 18)

(31) 優先権主張番号 特願2000-57641(P2000-57641)

(32) 優先日 平成12年3月2日 (2000. 3. 2)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 園田 慎一郎

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富
士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 羽鳥 正美

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富
士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100079049

弁理士 中島 淳 (外3名)

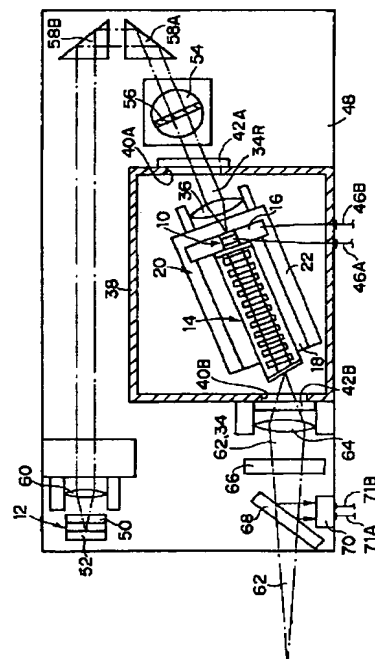
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光波長変換ユニット及び光波長変換モジュール

(57) 【要約】

【課題】 固体レーザー結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザーから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができると共に、少数部品のみを気密封止することにより作製が容易で経時安定性に優れた光波長変換ユニット及び光波長変換モジュールを提供する。

【解決手段】 半導体レーザー10と、半導体レーザー10の前方出射端面と共に外部共振器を構成する反射部材としてのミラー12と、半導体レーザー10から出射された基本波を波長変換して第2高調波を出力する導波路型的光波長変換素子14と、を備えた光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザー10と光波長変換素子14とからなるLD-SHGユニット20を、パッケージ38内にドライ窒素等と共に気密封止する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】外部共振器を構成する反射部材側にレーザビームを出射する第1の端面を備えと共に、該第1の端面とは別の第2の端面から基本波であるレーザビームを出射する半導体レーザと、
前記半導体レーザの第2の端面に直接結合されて、前記半導体レーザの第2の端面から出射された基本波を波長変換する光波長変換素子と、
前記半導体レーザ及び前記光波長変換素子を結合した結合ユニットを気密封止する気密封止部材と、
を含む光波長変換ユニット。

【請求項2】外部共振器を構成する反射部材側にレーザビームを出射する第1の端面を備えと共に、該第1の端面とは別の第2の端面から基本波であるレーザビームを出射する半導体レーザと、
前記半導体レーザの第2の端面に直接結合されて、前記半導体レーザの第2の端面から出射された基本波を波長変換する光波長変換素子と、
前記半導体レーザの第1の端面、及び光波長変換素子の出射端面の少なくとも一方に近接して配置されたレンズと、
前記レンズ、前記半導体レーザ、及び前記光波長変換素子を結合した結合ユニットを気密封止する気密封止部材と、
を含む光波長変換ユニット。

【請求項3】外部共振器を構成する反射部材と、
請求項1または請求項2に記載の光変換ユニットと、
を含む光波長変換モジュール。

【請求項4】前記反射部材のレーザビーム入射側の面に透過性被膜を設け、該入射側の面と反対側の面に高反射率被膜を設けた請求項3に記載の光波長変換モジュール。

【請求項5】前記外部共振器の共振長を、基本波のコヒーレント長よりも長くした請求項3または4に記載の光波長変換モジュール。

【請求項6】前記半導体レーザを高周波重畳された電流により駆動する請求項1または2に記載の光波長変換ユニット。

【請求項7】前記半導体レーザを高周波重畳された電流により駆動する請求項3～5のいずれか1項に記載の光波長変換モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光波長変換素子を用いて半導体レーザから出射された基本波を波長変換する光波長変換モジュールに関し、詳しくは、外部共振器を備えた半導体レーザとこの半導体レーザから出射された基本波を第2高調波等に波長変換する光波長変換素子とを備えた光波長変換ユニット、及びこの光波長変換ユニットを備えた光波長変換モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】従来、固体レーザ結晶をレーザダイオードから発せられた光によって励起する励起固体レーザが、青色レーザ（473nm）や緑色レーザ（532nm）の光源として使用されていた。これら励起固体レーザは、図16に示すように、励起光としてのレーザビーム100を発する横マルチモードのレーザダイオード110、レーザビームを集光する集光レンズ112、固体レーザ結晶114、固体レーザ結晶の前方に配置され固体レーザ結晶114の入射側端面と内部共振器を構成するミラー116、固体レーザ結晶114とミラー116との間に配置され周期ドメイン反転構造を有する第2高調波発生用のSHG結晶118、固体レーザ結晶114とSHG結晶118との間に配置されたブリュースター板119、及びSHG結晶118とミラー116との間に配置されたエタロン120を備えている。

【0003】この種の励起固体レーザにおいては、ネオジウム（Nd）等の希土類元素がドーピングされた固体レーザ媒質であるYAG結晶やYVO₄結晶等のレーザ結晶が使用されているが、レーザ結晶により発振波長が所定波長に制限されるほか、例えばYAG結晶では100kHz、YVO₄結晶では2MHzというようにレーザ結晶自身の応答周波数の低さのため高速変調を行うことができない、という問題があった。また、内部共振器を構成するため、固体レーザ結晶や共振器を構成する部材に、入射波長、共振波長、及び出射波長のそれぞれに対応するための反射膜や反射防止膜を設けなければならない、作製が複雑になる。さらに、横マルチモードのレーザダイオードが使用されるため、横モードホップが起り、横モードホップに起因するノイズが発生する。

【0004】また、この種の励起固体レーザにおいては、ファブリ・ペロー型共振器やリング共振器等の共振器構造が採用されるが、使用環境の湿度や気圧が変化すると共振器長が変化し、そのために発振波長が変動してしまう、という問題がある。特にエタロンは使用環境の影響を受け易い。このため、特開平9-266338号公報には、固体レーザ結晶、レーザダイオードおよび共振器を構成する総ての光学要素を、内外を気密状態に保つ容器の内部に収納、即ち、気密封止し、湿度や気圧の変化による共振器長の変化を無くして、固体レーザの出力や発振波長の変動を防止した励起固体レーザが提案されているが、この励起固体レーザでは、主要構成要素の総てを気密封止しなければならない、装置が大掛かりになり製作コストが高くなる、という問題があった。また、気密封止される部品点数が多いと、各部品から発生するガスでミラーなどが経時劣化し、固体レーザの出力が低下する、という問題があった。

【0005】本発明は上記問題点を解決するためになさ

れたものであり、本発明の第1の目的は、固体レーザ結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができると共に、少数部品を気密封止することにより作製が容易で経時安定性に優れた光波長変換ユニット及び光波長変換モジュールを提供することにある。

【0006】また、本発明の第2の目的は、使用環境の湿度や気圧の変化にも十分対応することができ、波長変換波を安定して出力することができる光波長変換モジュールを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、請求項1に記載の光波長変換ユニットは、外部共振器を構成する反射部材側にレーザビームを出射する第1の端面を備え、と共に、該第1の端面とは別の第2の端面から基本波であるレーザビームを出射する半導体レーザと、前記半導体レーザの第2の端面に直接結合されて、前記半導体レーザの第2の端面から出射された基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記半導体レーザ及び前記光波長変換素子を結合した結合ユニットを気密封止する気密封止部材と、を含んで構成したことを特徴とする。

【0008】請求項1に記載の光波長変換ユニットの反射部材は、半導体レーザの第2の端面と共に外部共振器を構成しており、この外部共振器により反射部材側に射出されたレーザビームが共振され、第2の端面から基本波であるレーザビームが出射される。半導体レーザの第2の端面から出射されたレーザビームは、半導体レーザの第2の端面に直接結合された光波長変換素子により波長変換される。

【0009】即ち、半導体レーザと光波長変換素子とを直接結合しているため、固体レーザ結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができる。ここで、直接結合とは、半導体レーザの出射端面と光波長変換素子とを相接近する状態にして両素子をレンズを介さずに光学的に結合することを意味しており、両素子を物理的に接合するという意味ではない。

【0010】また、固体レーザ結晶を用いないので、発振波長選択の自由度が大きくなり、高速変調を行うことも可能である。

【0011】また、この光波長変換ユニットでは、気密封止部材により、半導体レーザ及び光波長変換素子を結合した結合ユニットを気密封止するので、作製が容易である。また、気密封止される部品点数が少ないので、各部品から発生するガスによる封止された部品の経時劣化等を防止することができる。なお、結合ユニットには、半導体レーザ及び光波長変換素子を結合するのに必要な基板、マウント等の部品、及び配線に必要なワイヤが含まれていてもよい。

【0012】上記第1の目的を達成するために、請求項2に記載の光波長変換ユニットは、外部共振器を構成する反射部材側にレーザビームを出射する第1の端面を備え、と共に、該第1の端面とは別の第2の端面から基本波であるレーザビームを出射する半導体レーザと、前記半導体レーザの第2の端面に直接結合されて、前記半導体レーザの第2の端面から出射された基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記半導体レーザの第1の端面、及び光波長変換素子の射出端面の少なくとも一方に近接して配置されたレンズと、前記レンズ、前記半導体レーザ、及び前記光波長変換素子を結合した結合ユニットを気密封止する気密封止部材と、を含んで構成したことを特徴とする。

【0013】請求項2に記載の光波長変換ユニットは、半導体レーザと光波長変換素子とを直接結合している点は、請求項1の発明と同様であり、請求項1の発明と同様に、固体レーザ結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができ、発振波長選択の自由度が大きくなり、高速変調を行うことも可能である。

【0014】また、請求項2に記載の光波長変換ユニットでは、レンズが、半導体レーザの第1の端面、及び光波長変換素子の射出端面の少なくとも一方に近接して配置されており、気密封止部材により、そのレンズ、半導体レーザ、及び光波長変換素子を結合した結合ユニットを気密封止するので、請求項1の発明と同様に、作製が容易であり、気密封止される部品点数が少ないので、各部品から発生するガスによる封止された部品の経時劣化等を防止することができる。また、レンズが気密封止されているので、モジュール等に取付ける際に、レンズと半導体レーザまたは光波長変換素子との光軸合わせが不要になる。なお、結合ユニットには、レンズ、半導体レーザ、及び光波長変換素子を結合するのに必要な基板、マウント等の部品、及び配線に必要なワイヤが含まれていてもよい。

【0015】上記第1の目的を達成するために、請求項3に記載の光波長変換モジュールは、外部共振器を構成する反射部材と、請求項1または請求項2に記載の光変換ユニットと、を含んで構成したことを特徴とする。請求項1または請求項2に記載の光変換ユニットは、請求項3に記載したように、光波長変換モジュールとして構成することができる。

【0016】上記第2の目的を達成するために、請求項4に記載の光波長変換モジュールは、請求項3の発明において、前記反射部材のレーザビーム入射側の面に透過性被膜を設け、該入射側の面と反対側の面に高反射率被膜を設けたことを特徴とする。

【0017】請求項4に記載の光波長変換モジュールでは、レーザビームを、反射部材のレーザビーム入射側の

面に設けられた透過性被膜を透過し、入射側の面と反対側の面に設けられた高反射率被膜と反射部材の基板との界面に収束させる。これにより、反射部材の表面にレーザービームを収束させた場合に比べ、反射部材のレーザービーム入射側の面でのビームスポット径が大きくなる。このため、反射部材の表面にゴミが付着し難くなり、反射部材の反射率が低下するのを防止することができる。

【0018】上記第2の目的を達成するために、請求項5に記載の光波長変換モジュールは、請求項3または4の発明において、前記外部共振器の共振長を、基本波の10 コヒーレント長よりも長くしたことを特徴とする。

【0019】請求項5に記載の光波長変換モジュールでは、外部共振器の共振器長を半導体レーザーのコヒーレント長よりも長くすることにより、戻り光による干渉が無くなり、1L特性（光出力と電流との関係を示す特性）の直線性を維持することができる。即ち、外部共振器の共振器長を半導体レーザーのコヒーレント長よりも長くすると、外部共振器の共振器長が多少変動しても半導体レーザーの発振波長に大きな影響を与えない。従って、半導体レーザー及び光波長変換素子を含む少数部品を気密封止するだけで、使用環境の湿度や気圧の変化にも十分対応することができ、波長変換波を安定して出力することができる。

【0020】また、上記光波長変換ユニット及び光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザーを高周波重畳された電流により駆動することにより、半導体レーザーの縦モード競合を抑制して発振波長の変動を防止し、波長変換波の光出力を安定化することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ、本発明を適用した光波長変換モジュールの実施の形態について詳細に説明する。

（第1の実施の形態）本実施の形態に係る光波長変換モジュールは、図6に示すように、第1の端面（後方出射端面）とこの第1の端面に対向する第2の端面（前方出射端面）とを備えた半導体レーザー10と、半導体レーザー10の前方出射端面と共に外部共振器を構成する反射部材としてのミラー12と、半導体レーザー10から出射された基本波を波長変換して第2高調波を出力する導波路型の光波長変換素子14と、を備えている。

【0022】図1（A）及び（B）に示すように、半導体レーザー（LD）10は半導体レーザー用のマウント16に保持され、2次高調波発生素子（SHG）で構成された光波長変換素子14は光波長変換素子用のマウント18に保持されている。半導体レーザー10と光波長変換素子14とは、マウントに保持された状態で、半導体レーザー10の出射部分と光波長変換素子14の導波路部分

（入射部分）とが一致するように位置合わせされ、LD-SHGユニット20が構成されている。これにより半導体レーザー10の前方出射端面に光波長変換素子14が

直接結合される。このLD-SHGユニット20は、図2に示すように、基板22上に固定されている。

【0023】半導体レーザー10は、ファブリペロー型（FP型）の単峰性の空間モード（横シングルモード）を有する通常の半導体レーザー（レーザーダイオード）であり、半導体レーザー10の両端面（劈開面）には、発振波長の光に対するLR（低反射率）コート24A、24Bが施されている。例えば、LRコート24Aの基本波に対する反射率を30%、LRコート24Bの基本波に対する反射率を30%とすることができる。

【0024】光波長変換素子14は、非線形光学効果を有する強誘電体であるLiNbO₃にMgOが例えば5mol%ドーピングされたもの（以下、MgO-LNと称する）の結晶からなる基板26を備えており、この基板26には、そのZ軸と平行な自発分極の向きを反転させたドメイン反転部28が後述する所定周期Λで形成された周期ドメイン反転構造と、この周期ドメイン反転構造に沿って延びるチャンネル光導波路30と、が形成されている。また、光波長変換素子14の半導体レーザー側端面には、基本波に対するAR（透過性）コート32Aが施され、出射側端面には第2高調波及び基本波に対するARコート32Bが施されている。なお、周期ドメイン反転構造を有する導波路型の光波長変換素子14の作製方法については、特開平10-254001号公報等に詳細に記載されている。

【0025】また、光波長変換素子14の前方出射端面は斜めに研磨されて、チャンネル光導波路30が延びる方向に垂直な面に対して、チャンネル光導波路30が延びる方向に角度θ（3° ≤ θ）以上傾斜した傾斜面が形成されている。このように光導波路端面を含む前方出射端面を斜めに研磨したことにより、基本波がチャンネル光導波路30に再入射するのを防止し、半導体レーザー10への戻り光を無くすることができる。

【0026】図3に示すように、LD-SHGユニット20には、半導体レーザー10の後方出射端面から発散光状態で出射したレーザービーム（後方出射光）34Rを平行光化するコリメータレンズ36が取り付けられている。LD-SHGユニット20及びコリメータレンズ36は、気密封止部材としてのパッケージ38内にドライ窒素等の不活性ガスまたはドライ空気と共に気密封止され、パッケージ38内に固定されている。なお、コリメータレンズ36としては、セルフロック（商品名）のような分布屈折率ロッドレンズ、非球面レンズ、及び球面レンズのいずれをも使用することができる。

【0027】パッケージ38には、半導体レーザー10からの後方出射光34Rが透過する窓孔40Aと光波長変換素子14からの前方出射光62が透過する窓孔40Bとが形成され、この窓孔40Aと窓孔40Bには、それぞれ透明な窓板42Aと窓板42Bとが気密状態を保つように被着されている。また、パッケージ38には、ワ

ワイヤ取出孔に低融点ガラス等を気密状態で嵌合させたワイヤ取出部44が形成され、半導体レーザ10の両電極に結線された2本のワイヤ46A、46Bがワイヤ取出部44を貫通して引き出されている。

【0028】図6に示すように、パッケージ38は、LD-SHGユニット20とコリメータレンズ36とを気密封止した状態で、ミラー12と共に基板48上に固定されている。

【0029】ミラー12は、図10(A)に示すように、そのレーザビーム入射側の面にはARコート50が施され、入射側の面と反対側の面にはHRコート52が施されている。パッケージ38の窓板42Aとミラー12との間には、ホルダー54に回転可能に保持された波長選択素子としての狭帯域バンドパスフィルタ56と、レーザビーム34Rの光路を略180°折り曲げるための一對の全反射プリズム58A及び58Bと、平行光化されたレーザビーム34Rをミラー12のHRコート52の表面に収束させる集光レンズ60と、がこの順に配置され、基板48上に固定されている。ミラー12のHRコート52の基本波に対する反射率は95%とするのが好ましい。

【0030】なお、ミラー12としては、図10(B)に示す、レーザビーム入射側の面にHRコートを施したミラーを用いることもできる。このミラーの場合は、ミラー表面にレーザビームを収束させる。しかしながら、一般に、ビームスポット径が小さいほど集塵作用が大きくなることが知られており、図10(A)に示すミラーを用い、HRコート52の表面にレーザビームを収束させると、図10(B)に示すミラーを用い、ミラー表面にレーザビームを収束させるよりもミラー表面でのビームスポット径が大きくなるので、ミラー表面にゴミが付着し難くなる。従って、本実施の形態のようにミラー12が気密封止されない装置では、図10(A)に示すように、レーザビーム入射側の面にARコートが施され、入射側の面と反対側の面にHRコートが施されたミラーを用いることにより、ゴミの付着によりミラーの反射率が低下するのを防止することができる。

【0031】ミラー12と半導体レーザ10の前方出射端面とによって構成される外部共振器の共振器長(即ち、半導体レーザ10の前方出射端面からミラー12のHRコート52の表面までの光学長)が、半導体レーザから出射される基本波のコヒーレント長よりも長くなるように、半導体レーザ10とミラー12とが配置されている。基本波のコヒーレント長Lは、そのレーザビーム固有の可干渉距離であり、レーザビームの波長を λ 、スペクトル幅を $\Delta\lambda$ とすると、下記式に従い算出することができる。基本波のコヒーレント長Lは、一般には100mm程度であるので、外部共振器の共振器長を、例えば100mmを超える長さとすることができる。

$$【0032】L = \lambda^2 / 2\pi n \Delta\lambda$$

また、パッケージ38の窓板42Bの外側には、光波長変換素子16の前方出射端面から出射した第2高調波62(基本波34を含む)を平行光化するコリメータレンズ64、平行光化された第2高調波62(基本波34を含む)から赤外光成分を除去するIRカットフィルタ66、ハーフミラー68、及びフォトダイオード70が配置され、基板48上に固定されている。コリメータレンズ64としては、収差の少ない非球面レンズが好ましい。

【0033】図7に示すように、基板48は設置台72に固定されている。基板48と設置台72の間にはベルチェ素子74が挿入されて、基板48に固定された各光学要素がベルチェ素子74により所定温度に調節される。基板48に固定された各光学要素は、基板48及びベルチェ素子74と共に、レーザビームの出射部分が透明な防塵用カバー75により覆われている。

【0034】また、設置台72上には、第2高調波62の収束位置の近傍に、ビーム整形用遮光板としてのナイフエッジ76が固定配置されている。後述するように、光波長変換素子14のチャンネル光導波路30を1次モードで伝搬した後に出射した第2高調波62は、設置台72の設置面に対して垂直方向(基板26の厚さ方向)下部にサイドローブを有しているが、ナイフエッジ76はこのサイドローブの部分のカットするように配置されており、サイドローブがナイフエッジ76によりカットされて、得られる第2高調波62Gは、ビーム断面内の光強度分布が略ガウス分布となったガウシアンビームとなる。なお、本実施の形態では、ナイフエッジ76を第2高調波62の収束位置の近傍に配置したが、光波長変換素子14の前方出射端面に密接または近接させて配置してもよい。

【0035】図8に示すように、半導体レーザ10は、防塵用カバー75の外に引出されたワイヤ46A、46Bを介して駆動回路78に接続されている。駆動回路78の概略構成を図9に示す。この駆動回路78は、自動出力制御回路(APC)を備えた直流電源回路80、交流電源84、及びバイアスT88からなり、バイアスT88はコイル82とコンデンサ86とから構成されており、直流電源回路80から発生されてコイル82を経た直流電源成分に、交流電源84から発生されてコンデンサ86を経た高周波が重畳され、この高周波重畳された電流が半導体レーザ10に印加される。出力する第2高調波のノイズを低減するために、重畳される高周波の周波数は100~400MHzとするのが好ましく、変調度は100%とするのが好ましい。

【0036】フォトダイオード70の両電極には2本のワイヤ71A、ワイヤ71Bが結線されており、ワイヤ71A、ワイヤ71Bは、防塵用カバー75の外に引出されている。フォトダイオード70は、防塵用カバー7

5の外に引出されたワイヤ71A、ワイヤ71Bを介してAPCを備えた直流電源回路80に接続されている。このAPCにより、第2高調波62の光出力が所定値となるように、半導体レーザー10に印加する電流量を制御する。また、ベルチェ素子74は、温度コントローラ90に接続されている。さらに、防塵用カバー75により覆われた装置内部には、装置内の温度を調節するためのサーミスタ（図示せず）が設けられており、このサーミスタも温度コントローラ90に接続されている。温度コントローラ90は、サーミスタの出力に基づいて、装置内部が使用環境で光学系が結露しない温度範囲（例えば、使用環境温度が30℃であれば、30℃以上）に維持されるようにベルチェ素子74を制御する。

【0037】次に、この光波長変換モジュールの製造方法について説明する。

【0038】まず、図1に示すように、半導体レーザー10を半導体レーザー用のマウント16に接着剤または半田により固定し、光波長変換素子14を光波長変換素子用のマウント18に接着剤または半田により固定する。マウントの材料としてはCuやSUS304を用いることができる。半導体レーザー10と光波長変換素子14とを、マウントに保持された状態で、半導体レーザー10の出射部分と光波長変換素子14の導波路部分（入射部分）とが一致するように位置合わせし、LD-SHGユニット20を製造する。

【0039】次に、図2に示すように、このLD-SHGユニット20を基板22上に接着剤またはYAG溶接により固定して、図3に示すように、コリメータレンズ36を取り付け、パッケージ38内に固定する。なお、半導体レーザー用のマウント16に熱伝導性の高いCuを用いた場合には、半導体レーザー10への加熱を避け、接着剤により固定するのが好ましい。パッケージ38に設けられたワイヤ取出部44から半導体レーザー10の両電極に結線された2本のワイヤ46A、46Bを引き出した後、パッケージ38内をドライ窒素等の不活性ガスまたはドライ空気中で、電気溶接またはシーム溶接によりパッケージ38の開口部分を閉じる。

【0040】図4に示すように、このパッケージ38を基板48上に固定した後、ミラー12、狭帯域バンドパスフィルタ56、一對の全反射プリズム58A及び58B、及び集光レンズ60を、基板48上に固定する。光波長変換素子14の光出力が最大となるように、半導体レーザー10の発振波長を調整しながら各光学要素を配置する。次に、図5に示すように、コリメータレンズ64を基板29上に固定し、図6に示すように、IRカットフィルタ66、ハーフミラー68、及びフォトダイオード70を、基板48上に固定する。

【0041】次に、図7に示すように、各光学要素を固定した基板48をベルチェ素子74に取付けて、設置台72に固定する。各光学要素を、基板48及びベルチェ

素子74と共に、防塵用カバー75で覆う。また、設置台72上の第2高調波62の収束位置の近傍には、ビーム整形用遮光板としてのナイフエッジ76を固定配置する。

【0042】最後に、図8に示すように配線を行い、半導体レーザー10を駆動回路78に接続し、フォトダイオード70を駆動回路78の直流電源回路80に接続し、ベルチェ素子74及びサーミスタを温度コントローラ90に接続して、光波長変換モジュールが完成する。

【0043】次に、この光波長変換モジュールの動作について説明する。

【0044】半導体レーザー10から光波長変換素子14に向かわずに後方側に発せられたレーザービーム34R（後方出射光）は、コリメータレンズ36によって平行光化され、平行光化されたレーザービーム34Rは狭帯域バンドパスフィルタ56を透過した後、一對の全反射プリズム58A及び58Bにより光路を略180°折り曲げられて、集光レンズ60により集光されてミラー12上において収束する。ミラー12で反射されたレーザービーム34Rは、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザー10にフィードバックされる。即ち、この装置では、ミラー12と半導体レーザー10の前方端面とによって半導体レーザー10の外部共振器が構成されている。

【0045】この外部共振器の中に配された狭帯域バンドパスフィルタ56により、フィードバックされるレーザービーム34Rの波長が選択される。半導体レーザー10はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルタ56の回転位置に応じて変化するので、この狭帯域バンドパスフィルタ56を適宜回転させることにより、半導体レーザー10の発振波長を、光波長変換素子14のドメイン反転部28の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0046】一方、所定波長にロックされ、半導体レーザー10から前方側に発せられたレーザービーム34は、チャンネル光導波路30内に入射する。このレーザービーム34はチャンネル光導波路30をTEモードで導波し、その周期ドメイン反転領域で位相整合（いわゆる疑似位相整合）して、波長が1/2、例えばレーザービーム34の中心波長が950nmとすると475nmの第2高調波62に波長変換される。この第2高調波62もチャンネル光導波路30を導波モードで伝搬し、光導波路端面から出射する。

【0047】なお、本発明者等の研究によると、光導波路を0次モードより1次モードで伝搬する第2高調波の方が基本波との重なり積分が大きいことが分かった。即ち、1次モードで伝搬する第2高調波と基本波とを位相整合させた方が、波長変換効率が高くなる。このため、本実施の形態では、光波長変換素子14のチャンネル光導波路30を1次モードで伝搬する第2高調波62と基

本波34とが擬位相整合するように、周期ドメイン反転構造の周期 Λ が設定されている。具体的には、光導波路の基本波に対する実効屈折率を $n\omega$ 、第2高調波に対する実効屈折率を $n_2\omega$ 、基本波の波長を λ_r としたとき、下記式を満足するように周期 Λ を設定している。

$$[0048] \quad n_2\omega - n\omega = \lambda_r / 2\Lambda$$

また、光導波路端面からは、波長変換されなかったレーザービーム34も発散光状態で出射し、第2高調波62と共にコリメータレンズ64によって平行光化される。従って、光波長変換素子14の光導波路端面から出射された光は、コリメータレンズ64によって平行光化された後、1Rカットフィルタ66によって第2高調波62が分離され出射される。出射された第2高調波62は、その一部がハーフミラー68で反射されてフォトダイオード70により検出され、レーザービームのパワー制御が行われる。

(第2の実施の形態) 本実施の形態に係る光波長変換モジュールは、図11に示す通り、LD-SHGユニット20をパッケージ38内に気密封止し、コリメータレンズ36としてワーキングディスタンスの大きなレンズを用いて、コリメータレンズ36をパッケージ38の外に配置した以外は、図6、図7、及び図8に示す第1の実施の形態に係る光波長変換モジュールと同じ構成であるため、同様の部分については同じ符号を付して説明を省略する。

[0049] 即ち、LD-SHGユニット20は、気密封止部材としてのパッケージ38内にドライ窒素等の不活性ガスまたはドライ空気と共に気密封止され、パッケージ38内に固定されている。パッケージ38は、LD-SHGユニット20を気密封止した状態で、ミラー12と共に基板48上に固定されている。パッケージ38の窓板42Aとミラー12との間には、半導体レーザー10の後方出射光34Rを平行光化するコリメータレンズ36と、ホルダー54に回転可能に保持された波長選択素子としての狭帯域バンドパスフィルタ56と、レーザービーム34Rの光路を略180°折り曲げるための一对の全反射プリズム58A及び58Bと、平行光化されたレーザービーム34Rをミラー12のHRコート52の表面に収束させる集光レンズ60と、がこの順に配置され、基板48上に固定されている。なお、コリメータレンズ36としては、セルフロック等の分布屈折率ロッドレンズ、非球面レンズ、及び球面レンズのいずれをも使用することができる。

[0050] この光波長変換モジュールは、図12に示すように、基板22上に接着剤またはYAG溶接により固定したLD-SHGユニット20を、パッケージ38内に固定して気密封止し、図13に示すように、このパッケージ38を基板48上に固定した後に、コリメータレンズ36をパッケージ38の窓板42Bの外側に配置して、基板48上に固定する以外は、第1の実施の形態

と同様にして作製することができる。

(第3の実施の形態) 本実施の形態に係る光波長変換モジュールは、図14に示す通り、LD-SHGユニット20に加え、光波長変換素子16の前方出射端面から出射した第2高調波62等を平行光化するコリメータレンズ64をパッケージ38内に気密封止した以外は、図11に示す第2の実施の形態に係る光波長変換モジュールと同じ構成であるため、同様の部分については同じ符号を付して説明を省略する。

[0051] 即ち、LD-SHGユニット20には、光波長変換素子16の前方出射端面から出射した第2高調波62(基本波34を含む)を平行光化するコリメータレンズ64が取り付けられて、気密封止部材としてのパッケージ38内にドライ窒素等の不活性ガスまたはドライ空気と共に気密封止され、パッケージ38内に固定されている。コリメータレンズ64としては、収差の少ない非球面レンズが好ましい。

[0052] パッケージ38は、LD-SHGユニット20とコリメータレンズ64とを気密封止した状態で、ミラー12と共に基板48上に固定されている。パッケージ38の窓板42Bの外側には、平行光化された第2高調波62(基本波34を含む)から赤外光成分を除去する1Rカットフィルタ66と、ハーフミラー68とフォトダイオード70とからなる光検出器と、が配置され、基板48上に固定されている。

[0053] この光波長変換モジュールは、基板22上に接着剤またはYAG溶接により固定したLD-SHGユニット20を、コリメータレンズ64を取り付けた後に、パッケージ38内に固定して気密封止し、このパッケージ38を基板48上に固定する以外は、第2の実施の形態と同様にして作製することができる。

[0054] なお、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールにより得られる第2高調波の偏光方向は設置台72と平行な方向であるが、偏光制御用の $\lambda/2$ 板92を用いて、設置台72と垂直な方向に偏光した第2高調波62を得ることができる。 $\lambda/2$ 板92は、例えば、図15(A)に示すように、第2高調波の出射光路上の防塵用カバー75の外側に取付けてもよく、また、図15(B)に示すように、1Rカットフィルタ66の前後に取付けてもよい。

[0055] 以上説明したように、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールは、半導体レーザーと光波長変換素子とを直接結合しているため、固体レーザー結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザーから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができ、発振波長選択の自由度が大きくなり、高速変調を行うことも可能である。

[0056] また、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールでは、パッケージ内に半導体レーザー及び光波長変換素子を含む少数部品のみを気密封止するので、

作製が容易である。また、気密封止される部品点数が少ないので、各部品から発生するガスによる封止された部品の経時劣化等を防止することができる。特に、第2の実施の形態の光波長変換モジュールでは、パッケージ内に気密封止するのは半導体レーザ及び光波長変換素子を結合した結合ユニットであり、部品点数がさらに少なくなる。一方、第1または第3の実施の形態の光波長変換モジュールでは、コリメータレンズをパッケージ内に気密封止するので、モジュール等に取付ける際に、レンズと半導体レーザまたは光波長変換素子との光軸合わせが不要になる。

【0057】また、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールでは、レーザビーム入射側の面にARコートが施され、入射側の面と反対側の面にHRコートが施されたミラーを用いているので、ミラー表面でのビームスポット径が大きくなってミラー表面にゴミが付着し難くなり、ゴミの付着によりミラーの反射率が低下するのを防止することができる。

【0058】また、外部共振器を備えた半導体レーザでは、外部共振器からの戻り光など光路長が異なる光が合成されて出射光になるが、光路長の異なる光は互いに干渉するので、光の干渉状態が変化するとIL特性の直線性が悪化する場合がある。例えば、半導体レーザに印加する電流を増加すると半導体レーザ自体が発熱して半導体レーザの屈折率と長さなどが変化するため半導体レーザの発振波長が変化する。このような発振波長の変化は光の干渉状態を変化させ、IL特性の直線性を悪化させるが、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールでは、外部共振器の共振器長を基本波のコヒーレント長より長くしたので、戻り光による干渉が無くなり、IL特性の直線性を維持することができる。即ち、外部共振器の共振器長を半導体レーザのコヒーレント長よりも長くすると、外部共振器の共振器長が多少変動しても半導体レーザの発振波長に大きな影響を与えない。従って、半導体レーザ及び光波長変換素子を含む少数部品を気密封止するだけで、使用環境の湿度や気圧の変化にも十分対応することができ、波長変換波を安定して出力することができる。

【0059】また、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールでは、外部共振器は光路を折り曲げる構成としたので、光波長変換モジュールをより小型化することができる。

【0060】また、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールは、横シングルモードの半導体レーザを使用しているため、横モードホップの問題は発生しない。

【0061】また、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールは、得られる第2高調波はガウシアンビームであるため、記録光をより小さなスポットに絞ることができ、光走査記録装置の記録光源として好適に使用することができる。

【0062】また、波長選択素子の透過帯域を、半導体レーザの両劈開面間のファブリペローモード間隔よりも広く設定すると、半導体レーザは複数の縦モードで発振するようになる。このような状態では、半導体レーザの駆動電流を固定していても、各縦モードへの電力配分率が時間によって変化する縦モード競合という現象が起きるが、第1～第3の実施の形態の光波長変換モジュールでは、半導体レーザの駆動電流に高周波を重畳して変調駆動しているため、駆動電流が縦モード競合を起こす領域に留まることが無くなり、縦モード競合が抑制される。

【0063】

【発明の効果】請求項1及び請求項2の発明は、半導体レーザと光波長変換素子とを直接結合しているため、固体レーザ結晶を用いることなく、簡単な構成で、半導体レーザから出射される基本波を光波長変換素子により直接波長変換することができる、という効果を奏する。また、固体レーザ結晶を用いないので、発振波長選択の自由度が大きくなり、高速変調を行うことも可能になる。

【0064】また、気密封止部材により、半導体レーザ及び光波長変換素子を含む少数部品のみを気密封止するので、作製が容易である。また、気密封止される部品点数が少ないので、各部品から発生するガスによる封止された部品の経時劣化等を防止することができる、という効果を奏する。

【0065】請求項3の発明は、請求項1または請求項2に記載の光変換ユニットを含む光波長変換モジュールであり、請求項1及び請求項2の発明と同様の効果を奏する。

【0066】請求項4の発明は、反射部材の表面にレーザビームを収束させた場合に比べ、反射部材のレーザビーム入射側の面でのビームスポット径が大きくなるので、反射部材の表面にゴミが付着し難くなり、反射部材の反射率が低下するのを防止することができる、という効果を奏する。

【0067】請求項5の発明は、外部共振器の共振器長を半導体レーザのコヒーレント長よりも長くすることにより、外部共振器の共振器長が多少変動しても半導体レーザの発振波長に大きな影響を与えないようになるので、半導体レーザ及び光波長変換素子を含む少数部品を気密封止するだけで、使用環境の湿度や気圧の変化にも十分対応することができ、波長変換波を安定して出力することができる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)は、第1の実施の形態の光波長変換モジュールのLD-SHGユニットの平面図であり、(B)は(A)のLD-SHGユニットの光軸に沿った断面図である。

【図2】基板上に固定した後のLD-SHGユニットの平面図である。

【図3】パッケージ内に気密封止した後のLD-SHGユニットの平面図である。

【図4】第1の実施の形態の光波長変換モジュールの製造工程を示す平面図である。

【図5】第1の実施の形態の光波長変換モジュールの製造工程を示す平面図である。

【図6】第1の実施の形態の光波長変換モジュールの平面図である。

【図7】第1の実施の形態の光波長変換モジュールの断面図である。

【図8】第1の実施の形態の光波長変換モジュールの配線を示す説明図である。

【図9】第1の実施の形態の光波長変換モジュールの駆動回路を示す回路図である。

【図10】光波長変換モジュールに使用するミラーの部分拡大図である。(A)は、表面にARコートを施したミラーであり、(B)は、表面にHRコートを施したミラーである。

【図11】第2の実施の形態の光波長変換モジュールの平面図である。

【図12】第2の実施の形態の光波長変換モジュールの製造工程を示す平面図である。

【図13】第2の実施の形態の光波長変換モジュールの製造工程を示す平面図である。

【図14】第3の実施の形態の光波長変換モジュールの平面図である。

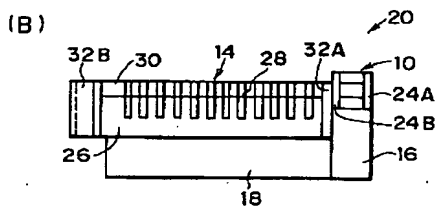
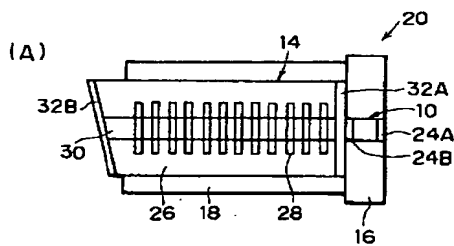
【図15】(A)及び(B)は、第1の実施の形態の光波長変換モジュールの変形例を示す平面図である。 *

*【図16】従来の励起固体レーザの構成を示す概略図である。

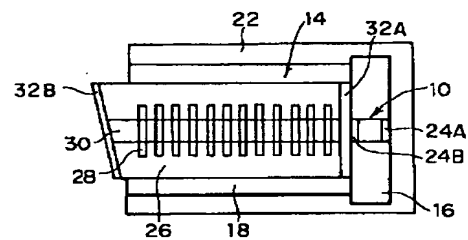
【符号の説明】

- 10 半導体レーザ
- 12 ミラー
- 14 光波長変換素子
- 20 LD-SHGユニット
- 26、48 基板
- 28 ドメイン反転部
- 10 30 チャンネル光導波路
- 34 R レーザビーム（後方出射光）
- 36、64 コリメータレンズ
- 38 パッケージ
- 42 A、42 B 窓板
- 50 ARコート
- 52 HRコート
- 56 狭帯域バンドパスフィルター
- 58 A、58 B 全反射プリズム
- 60 集光レンズ
- 20 62 第2高調波
- 66 IRカットフィルタ
- 70 フォトダイオード
- 72 設置台
- 74 ベルチェ素子
- 75 防塵用カバー
- 76 ナイフエッジ
- 78 駆動回路

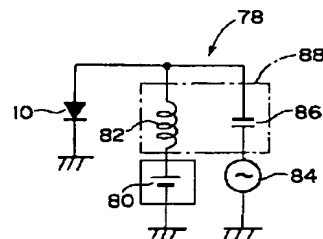
【図1】



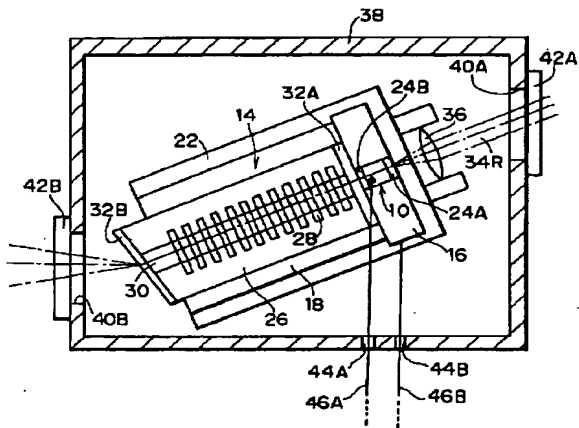
【図2】



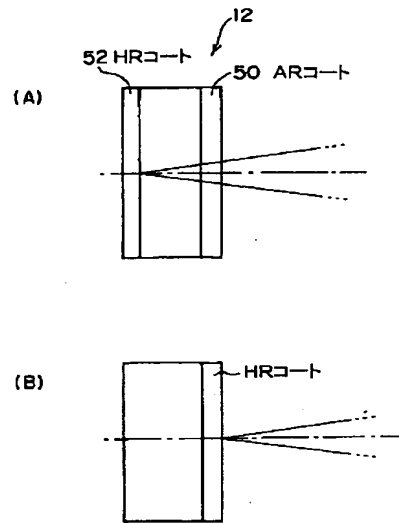
【図9】



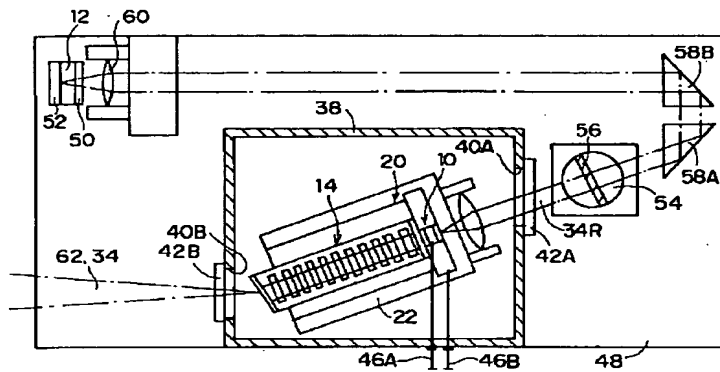
【図3】



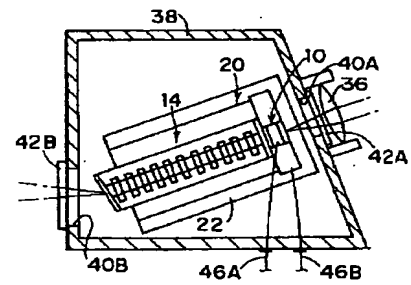
【図10】



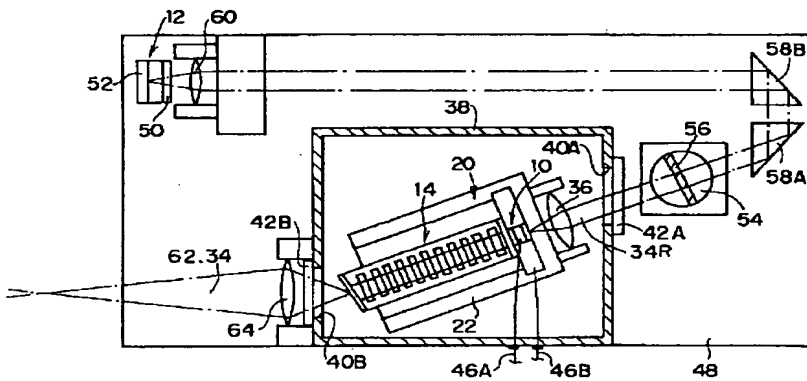
【図4】



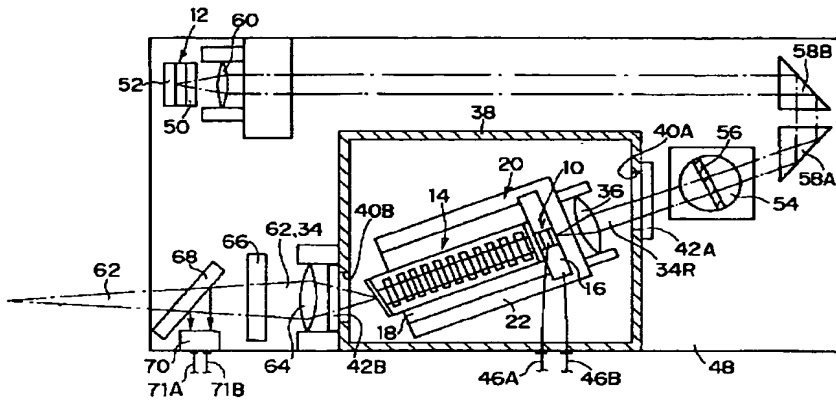
【図13】



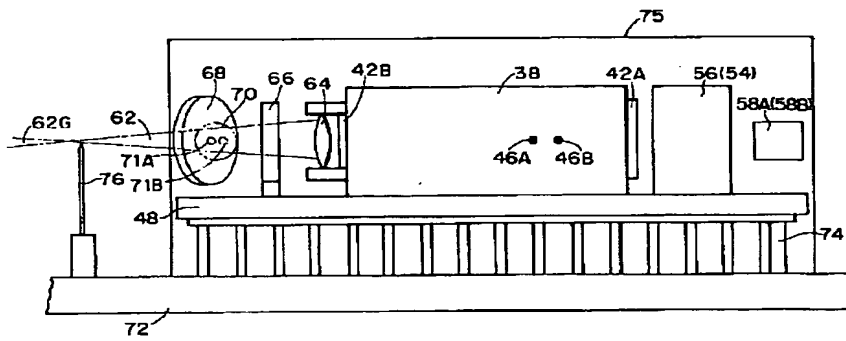
【図5】



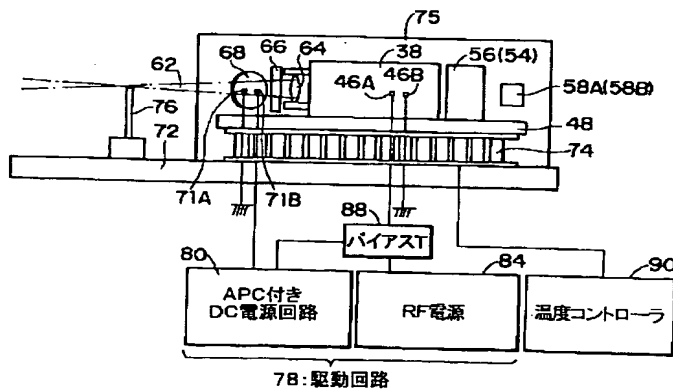
【図6】



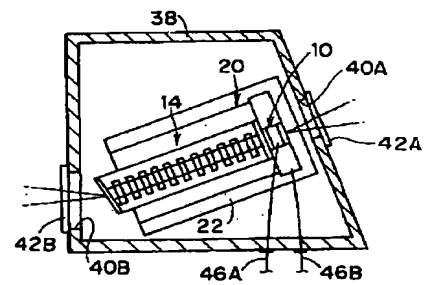
【図7】



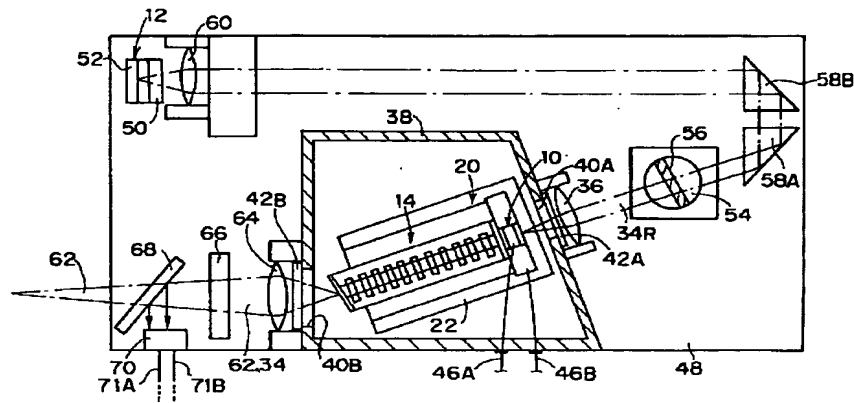
【図8】



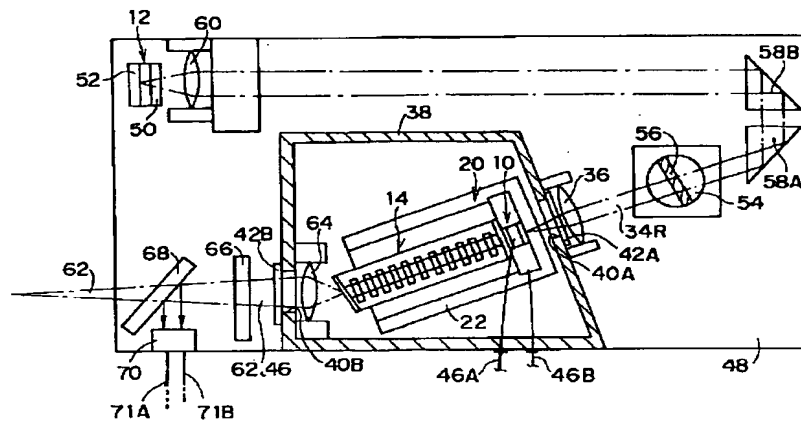
【図12】



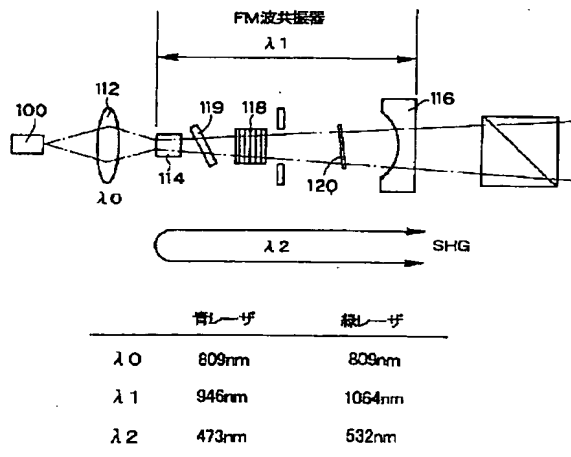
【図11】



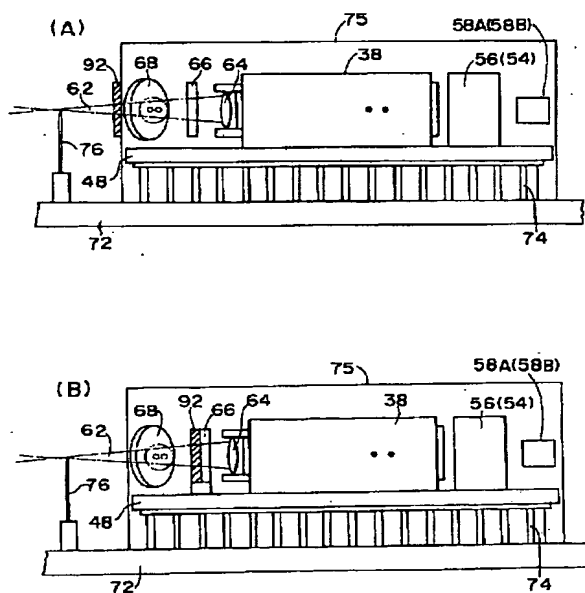
【図14】



【図16】



【図15】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2K002 AA05 AB12 AB27 BA01 CA03
 DA06 EA25 GA10 HA20
 5F073 AA83 AB23 AB25 AB27 AB29
 BA04 FA14 FA25 FA29 GA03
 GA23 GA38